

비행체의 원격신호측정을 위한 전파환경을 고려한 RF 수신신호 예측 시뮬레이터 개발

Development of an RF Signal Level Prediction Simulator for Radiowave Propagation in Natural Environments

현종철* 김상근* 오이석** 서동수*** 김흥범***
Jong-Chul Hyun Sang-Keun Kim Yisok Oh Dong-Soo Seo Heung-Bum Kim

Abstract

A simulator is proposed in this paper for predicting the RF signal level after propagating over sea and land surfaces. Various sea and land types and transmit/receive antenna patterns, as well as the locus of the transmit antenna, are considered for this simulator. At first, microwave reflection characteristics of various sea surfaces have been computed, based on an empirical formula which is developed in this study for the relation between the sea surface roughness and wind speed. Then, microwave reflections from land surfaces such as forests, agricultural areas, and bare surfaces, are computed using the first-order vector radiative transfer theory. Finally, the signal paths over sea and land surfaces are found using the ray tracing technique and the digital elevation model, and the signal level received by a receiving antenna is computed by the using the reflection coefficients of sea and land surfaces and the signal paths.

Keywords : 유도무기, 전파환경, Ray Tracing, Radiative Transfer, Plume, Simulator

1. 서론

비행시험을 위한 원격측정 신호 수신을 위해서 다수의 수신시스템이 운용되고 있다. 다수의 원격측정 수신시스템을 동시에 운용할 경우, 하나의 원격측정 시

스템에서 추적을 실패하더라도 다른 하나의 원격측정 시스템이 추적을 계속한다면 중단 없이 원격측정 신호의 수신이 가능하다. 비행시험 전 구간에서 안정된 원격측정 신호를 수신하기 위해서는 최적의 수신위치에 수신시스템을 배치하여 원격측정을 수행하는 작업이 필요하다. 그러나 현재는 지형과 비행궤적을 고려한 전파 전파모델의 이론적인 계산 없이 임의의 위치에 수신 시스템을 배치, 운용하고 있다. 실제 비행시험에서 안정된 원격측정 신호를 수신하기 위해서는 시험 전에 시뮬레이션을 통하여 수신신호 예측을 수행하는 작업이 요구되고 있다.

† 2010년 6월 23일 접수~2010년 8월 13일 게재승인

* LIG넥스원

** 홍익대학교 전자전기공학부

*** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 현종철(jc.hyun@lignex1.com)

본 논문에서는 지형지물과 전파 전파특성을 고려하여 유도무기의 비행궤적에 따른 RF 수신신호 세기를 시험 전에 예측하기 위해 개발된 모델을 소개한다. 지형, 송수신 안테나 패턴, 반사면 특성, 다중경로 fading 현상을 고려한 통계적 전파 채널 모델을 개발하였으며, 시험 전에 신호 세기를 시뮬레이션하여 예측해 줄 것이다. 또한, 비행궤적을 입력하면 임의의 위치에서 시간에 따른 RF 수신신호 세기를 예측하여, 최적의 위치에 수신시스템을 배치하는데 활용될 것으로 기대된다.

마이크로파에서는 지구 표면 상태에 따라 반사 특성이 매우 달라지므로, 풍향과 풍속에 따른 바다의 표면 거칠기, 육지 표면의 수분함유량, 표면 거칠기, 식물층의 높이, 풀잎이나 나뭇잎과 나뭇가지의 수분함유량과 크기/모양, 밀도, 등에 따른 전파 반사와 산란 특성을 정확히 계산할 필요가 있다. ray tracing 방법에 대해 많은 연구가 시도되었었고, 계산 결과는 비교적 정확하다고 알려져 있다^[1]. 이 방법에서는 공기 중 직진파, 지면이나 벽에서의 반사파, 인공 구조물에서의 회절과 등을 포함한다. 지금까지의 ray tracing 연구는 주로 이동통신에서의 도심지역 전송이나 실내에서의 전송 손실 계산에 사용되었기 때문에 건물 모서리에서의 회절이나, 실내 가구 모서리에서의 회절이 비가시 지역의 전송에 주요 요인이 되었다. 그러나 본 연구에서는 자연적 지표면 환경이므로, 회절보다는 클러터에서의 반사가 훨씬 더 큰 역할을 한다. 우리나라의 해안 지역은 주로 바다표면과 섬 및 육지로 구성되어 있으며, 수신안테나 주변 지역은 일반적으로 인공구조물, 평지, 산으로 구성되어 있다. 이런 전파환경에서는 나무 숲, 수풀, 바다 등에서의 전파 반사 특성에 대한 정확한 계산이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 전파 환경에 대한 정확한 경로 손실을 계산하는 모델을 개발한다.

2. 바다 표면에서의 반사계수 계산

Ray tracing 방법을 이용하여 dominant한 ray의 경로를 찾은 후 반사면의 특성과 반사각을 찾음으로써 바다표면에 의해 산란된 전파의 세기를 예측할 수 있다. 바다에서의 전파 반사 계산은 PO(Physical Optics) 모델을 수정하여 이용하였으며, 이 모델을 이용하기 위해서는 바다표면의 표면거칠기를 알아야한다. 바다표면

의 거친 정도를 나타내는 RMS(Root-Mean-Square) 표면 높이는 태안 앞바다의 실측 데이터를 이용하여 풍속에 대한 실험식을 유도함으로써 구하였으며, 이 자료를 토대로 풍속에 대한 전파의 반사계수를 계산하였다^[1].

가. 바다표면에서 풍속과 표면 거칠기의 관계

풍속에 따른 바다표면의 거칠기를 정의하기 위하여 다음과 같은 한국해양연구원의 측정 자료^[9] 중에서 표면 높이 데이터를 토대로 Fig. 1과 같이 RMS 표면 높이와 유의파고의 관계를 얻었다.

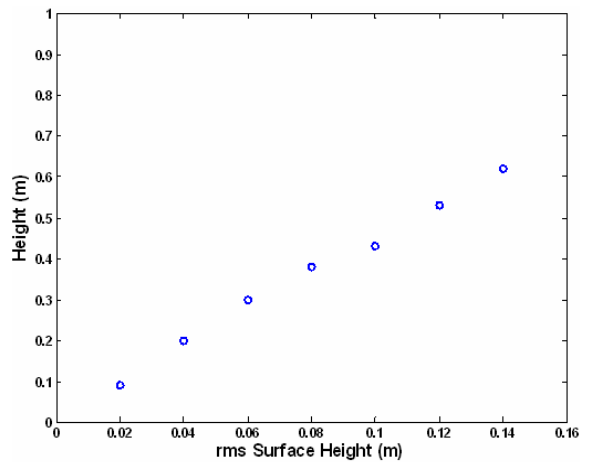


Fig. 1. 유의파고와 rms 표면높이

Fig. 1에서 다음과 같은 유의파고(h)와 RMS 표면높이 (σ_{rms})의 관계식을 얻었다.

$$h = 4.25 \times \sigma_{rms} + 0.0243 \quad (1)$$

또한 해양연구원 측정 자료 중에서 풍속과 유의파고 자료를 토대로 풍속과 유의파고 관계식을 얻고, (1)을 대입하여 다음 식과 같은 풍속(U)에 대한 RMS 표면높이 (σ_{rms})의 관계식을 얻었고 Fig. 2에 이 관계를 도시하였다.

$$\sigma_{rms} = (8.8768 \times 10^{-4}) \times U^2 + 0.0092 \times U + 0.0128 \quad (2)$$

나. 바다 표면 거칠기에 따른 반사계수 계산

거친 표면에 대한 전자파 산란을 계산하는 방법으로는 이론적인 분석과 수치해석적인 방법이 일반적이다.

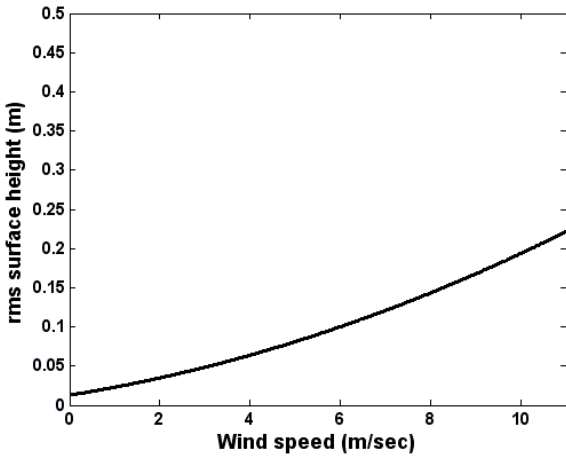


Fig. 2. 풍속에 따른 RMS 표면 높이

이론적 분석에 의한 근사식에 해당하는 PO 모델은 계산하는데 많은 시간이 걸리는 수치해석적인 방법에 비해 계산하는 시간이 적으므로, 시뮬레이터의 구현에 적합하며, 특정조건하에서 매우 정확하기 때문에 PO 모델을 이용하여 바다표면의 풍속에 따른 반사계수를 계산하였다. 적분방정식의 이론적 근사식에 해당하는 PO 모델은 거친 유전체 표면의 반사의 경우 실험적 결과를 통해 검증된 바 있다^[1]. Fig. 3은 거친 표면에서의 전파 반사를 보여주고 있다.

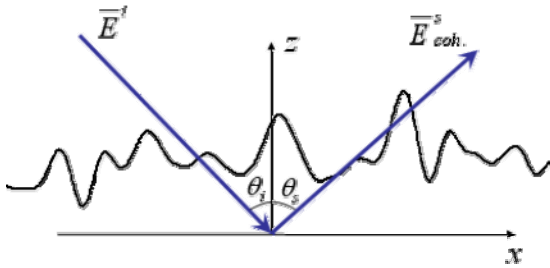


Fig. 3. 거친 표면에서의 반사

거친 표면 반사에 대한 PO 모델 식은 일반적으로 다음 식 (3)과 같이 표현된다.

$$\Gamma_q(\theta) = R_q \cdot e^{-2k^2 \sigma_{rms}^2 \cos^2 \theta} \delta_{pq} \quad (3)$$

$$R_h = R_{h0} + R_{h1} Z_l + \dots$$

$$R_v = R_{v0} + R_{v1} Z_l + \dots$$

여기서, 동일 편파를 계산하기 위해 아래와 같이

Kronecker 델타함수 항이 곱해졌고, k 는 파수, σ_{rms} 는 RMS 표면 높이, θ 는 입사각이며, R 은 반사계수이고, h 는 수평편파, v 는 수직편파를 나타낸다. R_{h0} 와 R_{v0} 는 각각 수평과 수직편파에 대한 Fresnel 반사계수들이고, R_{h1} 와 R_{v1} 은 각각 수평과 수직편파에 대한 1차 표면기울기에 대한 반사계수이며, Z_l 은 1차 표면 기울기이다. R_{h0} , R_{v0} , R_{h1} , R_{v1} 은 다음과 같다.

$$R_{h0} = \frac{\eta_2 \cos \theta - \eta_1 \cos \theta_t}{\eta_2 \cos \theta + \eta_1 \cos \theta_t} \quad (4)$$

$$R_{v0} = \frac{\eta_1 \cos \theta - \eta_2 \cos \theta_t}{\eta_1 \cos \theta + \eta_2 \cos \theta_t}$$

$$R_{h1} = \frac{\eta_2 \sin \theta (1 - R_{h0}) - \eta_1 \frac{k_1 \cos \theta}{k_2 \cos \theta_t} \sin \theta_t (1 + R_{h0})}{\eta_2 \cos \theta + \eta_1 \cos \theta_t}$$

$$R_{v1} = \frac{\eta_1 \sin \theta (1 - R_{v0}) - \eta_2 \frac{k_1 \cos \theta}{k_2 \cos \theta_t} \sin \theta_t (1 + R_{v0})}{\eta_1 \cos \theta + \eta_2 \cos \theta_t}$$

예를 들어, 풍속이 4m/s일 때 바다표면에서의 전파 반사 크기는 PO 모델을 이용하여 다음의 Fig. 4와 같다.

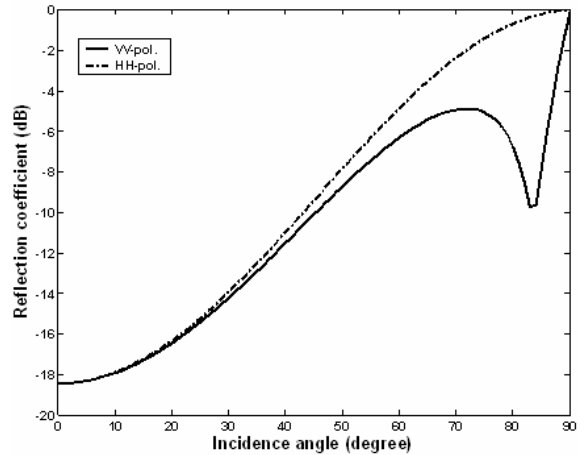


Fig. 4. 풍속 4m/s에서의 전파 반사 크기

3. 육지표면에서의 반사계수 계산

육지에서의 전파 반사 특성을 계산하기 위해서 우선 Digital Elevation Model(DEM) 데이터를 이용하여 지표면의 기울기를 계산하고, 송수신 안테나 위치에 따라

전파 경로를 찾은 후에 반사각을 계산하였다. 풀 층이 있는 지표면의 전파반사 계산에서는 지표면에서의 반사뿐만이 아니라 풀 층에서의 반사, 지표면과 풀 층의 다중반사, 풀 층에서의 감쇠 등을 포함하여야 한다. 풀 층에는 나무 기둥들과 줄기 및 나뭇잎들이 불규칙하게 분포되어 있으며, 이들에서의 반사와 다중반사 및 감쇠는 일반적인 간단한 이론식으로는 계산하기 어려운데, Vector Radiative Transfer(VRT) 이론을 이용하면 어느 정도 정확하게 전파 반사를 계산할 수 있다^[5].

VRT 이론은 불규칙한 크기, 모양, 특성의 산란 개체들이 불규칙한 위치와 방향으로 층을 이루어 흩어져 있을 경우에 일정 방향으로의 산란이나 흡수 정도를 대략적으로 계산할 때 주로 사용한다. 예를 들어, 구름층에서의 빛, 전파의 산란이나, 흡수 정도를 계산할 때에 많이 이용되어져 왔으며, 풀과 나무의 잎과 가지 등이 불규칙하게 흩어져 있다고 볼 수 있는 숲의 경우에도 이 VRT 이론을 적용하여 전파반사를 계산한다.

본 논문에서는 VRT 이론을 적용하여 식물 층을 하나의 층으로 단순화하고 식물 층을 구성하는 구성요소들을 잎, 가지, 나무줄기 등으로 간단히 하였고 땅에서의 산란에 대해서는 PO, SPM(Small Perturbation Method), GO(Geometrical Optics)을 사용하여 정확성을 향상 시켰다. 또한 개발된 이 모델에 대한 검증의 방법으로 JPL/AirSAR PACRIM2 Campaign 2000으로 실시된 논산/익산 지역에 대한 실제 측정데이터와 비교하여 그 정확도에 대한 신뢰도를 측정하였다^[8].

Fig. 5에서 I_0 는 식물 층에 입사하는 전파의 세기이고, I_t^s 는 반사하는 전체 전파의 세기이다. 그리고 숫자 1, 2(a)/(b), 3, 4(a)/(b), 5는 식물 층 내에서의 전파 반사의 방식들을 나타낸다. 여기서 θ_0 는 입사각을 나타내고 식물 층의 두께는 d 로 나타낸다. 반사하는 전체 전파의 세기는 각 산란방식에 의해 산란된 전파세기의 합으로 나타낼 수가 있다. 식물 층을 포함하는 지표면 위에서의 전파 반사의 세기는 VRT 수식에 의해 계산하게 된다.

Fig. 5에서 반사형태 1은 지면-풀층-지면 다중반사를, 반사형태 2는 지면-풀층 또는 풀층-지면 다중 반사를, 반사형태 3은 풀층에서의 직접반사, 반사형태 4는 지면-기둥 또는 기둥-지면 다중반사를, 반사형태 5는 지면에서의 반사를 보여주며, 각 전파가 풀 층을 통과할 때는 풀 층에서의 감쇠를 계산해 주어야 한다.

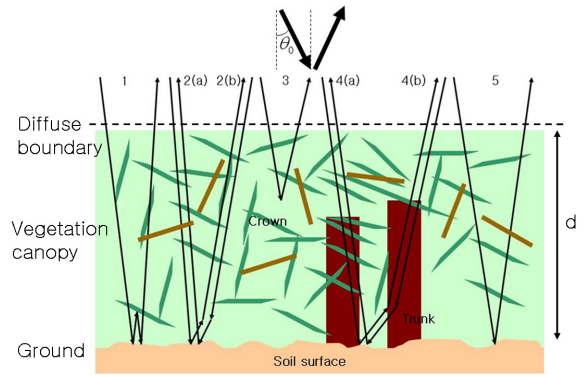


Fig. 5. 지표면 숲 층 모델과 산란 방식들

Table 1. 지면, 나무 풀 층의 데이터

분류	Input parameters	사용 값	
지면	mv (moisture content)	0.15	
	s (rms height) [cm]	0.5	
풀, 나무 층	Vegetation layer height [m]		5
	잎	Length [cm]	6
		Width [cm]	3
		Density [m ³]	500
	가지	Length [m]	0.3
		Density [m ³]	10
	기둥	Length [m]	2.5
		Density [m ³]	0.1

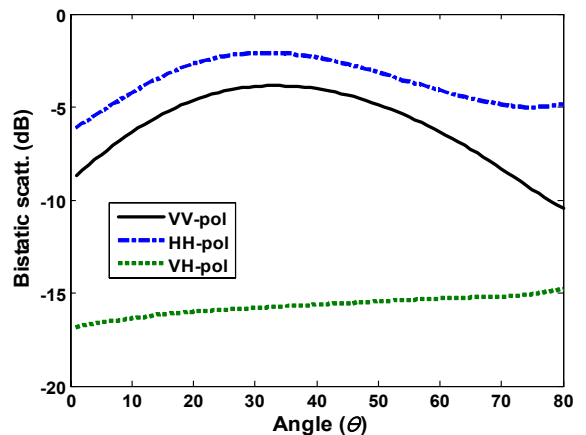


Fig. 6. 나무숲에서의 전파 반사 계산

Table 1에 보인 것처럼 지면과 나무, 풀 층에 대한 10가지의 정보를 가정하여, 숲 지형에서의 산란 모델을 계산하면, Fig. 6과 같은 전파반사 크기를 얻을 수 있다.

4. 안테나 패턴과 Plume의 영향

Ray tracing 기술을 이용하여 전파경로와 전파 감쇠를 계산할 때에는 바다와 숲 등에서의 전파 반사 특성뿐만 아니라 송수신 안테나의 패턴이 중요한 역할을 한다. 만일 송신 안테나가 plume의 영향을 받는다면 이러한 plume에 의한 전파의 감쇠 특성도 고려하여야 한다.

가. 안테나 패턴의 영향

Fig. 7(a)처럼 송신 안테나와 수신안테나가 위치했을 경우에 송신 안테나의 패턴을 가정하고, 등방형 수신안테나를 가정하여 이동시키며 수신 전파 크기를 시뮬레이션한 결과를 Fig. 7(b)에 보였다.

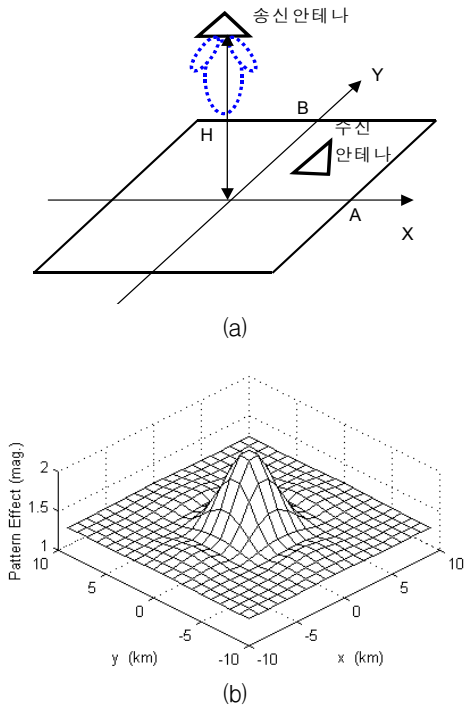


Fig. 7. 안테나 패턴 영향; (a) 송수신 구조와 (b) 패턴 영향

Fig. 8은 일반적인 안테나에 대해 측정된 principal E-plane 패턴과 principal H-plane 패턴을 interpolation 방식으로 조합하여 생성한 3차원(3D) 안테나 패턴을 예로 보여주고 있다. 이러한 안테나 패턴을 이용하면 각 ray의 경로와 경로 감쇠를 계산 할 수 있고 여기에 앞서 계산한 전파 반사에 의한 감소를 고려해주면 전체적인 전파감쇠를 얻을 수 있다.

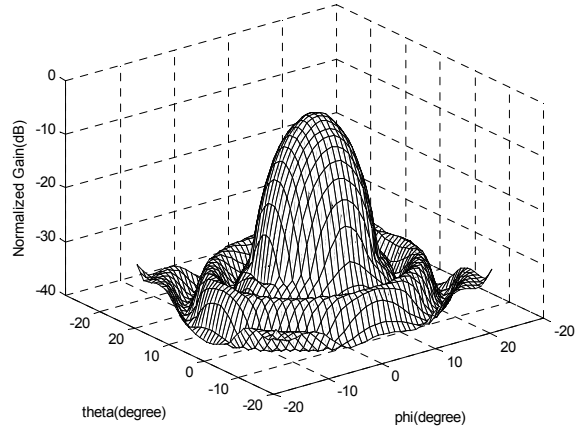


Fig. 8. 일반적인 안테나 3D 패턴 생성

나. Plume의 영향

비행체의 plume은 추진체에서의 높은 온도와 압력에 의해 생성되는 이온화된 플라스마로 모델링할 수 있다. 따라서 추진체의 연료 종류(액체, 고체, 가스 혼합물 등) 및 출력과위에 의해 plume의 특성이 다르게 나타남을 알 수 있다^[2]. 본 논문에서는 NASA에서 개발된 위성용 arcjet 추진체의 실험데이터를 기반으로 미국 록히드 마틴사의 ATACMS plume을 모델링하였다^[2].

플라스마에서의 전파 전파는 유전율을 이용하여 다음과 같이 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$\omega_p = 2\pi f_p = \sqrt{\frac{N_e e^2}{m \epsilon_0}} \quad (5)$$

여기서 ω_p 는 플라스마 주파수이며, N_e 은 전자 밀도, e 는 전자의 전하량($1.602 \times 10^{-19} \text{C}$), m 은 전자의 질량($9.107 \times 10^{-31} \text{kg}$), ϵ_0 는 유전율($8.854 \times 10^{-12} \text{F/m}$)이다. 굴절율(refractive index)은 다음과 같이 식 (6)로 구할 수 있다.

$$n = \sqrt{\frac{\epsilon\mu}{\epsilon_0\mu_0}} = \sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}} \quad (6)$$

따라서, N_e (전자 밀도)를 알면 식 (5)에 의해 플라즈마 주파수를 구할 수 있고, 플라즈마 주파수를 이용하여 식 (6)에 의해 굴절율을 찾을 수 있다. 결국 N_e (전자 밀도)를 구하면 식 (5)와 (6)를 이용하여 유전율을 구할 수 있다. 비행체의 plume을 실험하기는 불가능하므로 기존의 데이터 fitting을 통한 연구 결과인 식 (7)을 본 논문에서 적용하였다^[3].

$$N_e = \frac{a_1}{r^2} \exp(-\alpha\theta) \text{cm}^{-3} \quad (7)$$

여기서 r 은 추진체의 노즐을 원점으로 했을 때의 거리이며, θ 는 plume의 중심축과 이루는 각도, a_1 은 원점에서 중심축상의 1cm 지점에서의 전자 밀도이다. 본 논문에서 적용한 1kW arcjet의 경우 a_1 은 대략 $9.1 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 의 전자 밀도를 나타내며, α 는 0.019deg^{-1} 값을 갖는 상수이다.

Fig. 9는 위성의 추진체보다는 큰 출력인 10kW를 갖는다는 것을 가정하여 a_1 값을 10배 증가시킨 $9.1 \times 10^{11} \text{cm}^{-3}$ 로 정하여 상대유전율을 나타낸 그림이다. 노즐과 근접한 곳에서는 상대유전율이 상당히 낮다는 것을 알 수 있다. 또한, 상대 유전율이 위치에 따라서 연속적으로 변하기 때문에 이를 고려한 전파해석이 필요하다. 또한, 출력과위가 커질수록 같은 값을 갖는 상대 유전율의 면적이 더 커짐을 확인할 수 있었다.

Plume에 의한 공간상의 모든 점에서의 상대 유전율을 식 (5)~(7)을 이용하여 구할 수 있다. 유전율의 변화가 경계면에서만 이루어지는 매질을 통과하는 투과파의 경우에는 굴절 각도를 Snell 법칙을 이용하여 쉽게 구할 수 있다. 하지만 plume의 경우 위치에 따라서 상대 유전율이 계속적으로 변화하기 때문에 페르마의 원리(Fermat's principle)를 이용하여 벡터를 이용한 수치해석적 방법으로 구하였다.

굴절율과 전파의 관계식은 식 (8)과 같다.

$$\frac{d}{ds} n(r) \frac{d\vec{r}}{ds} = \text{grad } n \quad (8)$$

여기서 $n(r)$ 은 위치에 대한 굴절율의 변화를 나타

내고, \vec{r} 은 전파의 위치 벡터이다. s 는 전파가 진행하는 곡선의 길이 성분이다. 식 (8)를 이용하면 매질에 대한 굴절율의 변화에 상관없이 일반적인 전파의 진행방향을 찾을 수 있다. 다음 식은 벡터방정식을 세 개의 스칼라 2차 미분방정식으로 표현한 것이다.

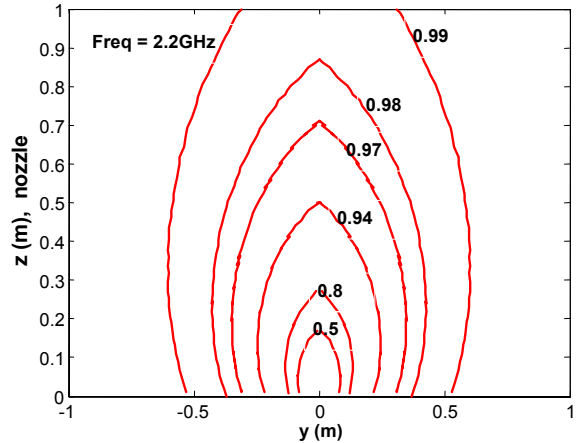


Fig. 9. 10kW 출력에서의 유전율 변화

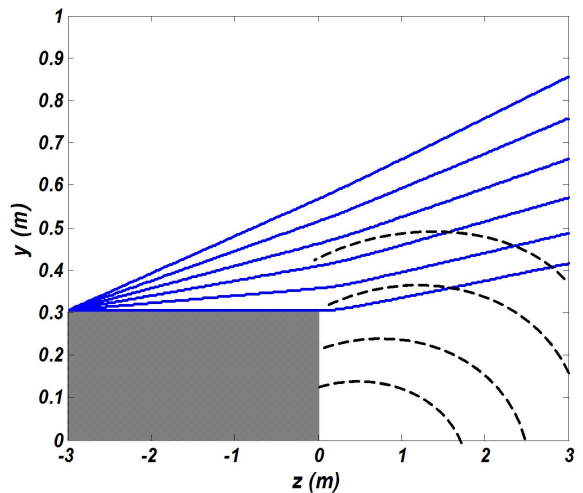


Fig. 10. Plume의 영향

미국 록히드 마틴사의 ATACMS는 길이 3.98m, 지름 0.61m, 노즐과 안테나 사이의 거리는 2.985m이며, plume의 상대유전율은 Fig. 9의 결과를 이용하였다. Fig. 10은 안테나에서 각도별 전파의 경로를 수치 해석적 방법으로 구한 것이다. 노즐을 원점으로 정하고 안테나 위치는 ATACMS의 반지름인 0.305m 표면 및 전

체 길이의 1/4지점(앞쪽 기준)인 -2.98m에 있다고 가정하고 0도부터 5도까지 1도 간격으로 전파를 plume 방향(z축 방향)으로 입사할 때의 전파 경로를 나타낸 것이다. 이 그림에서 z 방향은 진행 반대방향이며 y 방향은 진행 수직방향이고, 점선들은 유전을 변화를 실선들은 전파 ray들의 경로를 보여준다. Fig. 10에서처럼 plume에 의한 상대 유전율의 변화가 y축에서 0.5m 이상에서는 거의 없으므로 입사각 5도 이상에서는 각도의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 하지만 각도가 낮을수록 원점에 근접하게 됨으로 전파의 휘어짐이 커짐을 볼 수 있다.

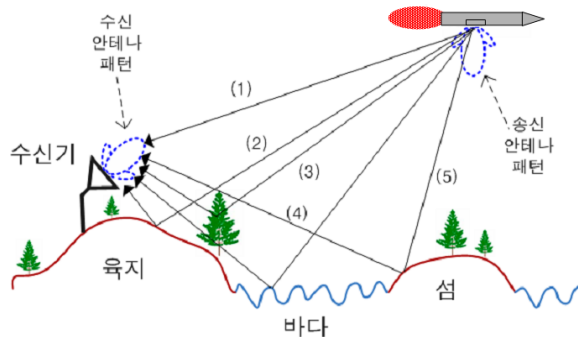


Fig. 11. Ray들의 대표적인 예상 경로들.

위의 직접파와 반사파 계산 공식을 이용하여 총 수신 전계를 계산하면 다음과 같다.

5. 전파반사경로 계산과 수신신호 계산

본 연구에서는 ray tracing 기술을 이용하여 전파경로를 정확하게 찾아내고, 경로 손실을 계산하였다. Fig. 11은 각종 ray들의 경로들 중에서 대표적인 몇 가지만 예시해 놓은 것이다. 대부분의 경우에 송신 안테나와 수신안테나가 Line-Of-Sight(LOS)에 있게 될 것이므로, 송신안테나에서 수신안테나로 직접 전달되는 전파(Fig. 11의 경로 (1) 참조)가 가장 큰 영향을 미칠 것이다. 송수신 안테나의 위치와 자세에 따른 안테나 패턴 weighting만 정확하게 계산해 주면 거리에 따라 쉽게 계산된다. 경로 (2)는 지면에서 반사된 반사파이고, 경로 (3)은 숲 지형에서의 전파 반사이다. 경로 (4)는 바다에서 한번 반사된 반사파를 보여주며, 경로 (5)는 섬 지역에서의 반사경로를 나타낸다.

직접파는 전계원을 점전원으로 하면 구형파가 되고, 구형파에 대한 기하 광학파는 식 (10)과 같게 된다.

$$E = E_0 \frac{\exp[-jkr_0]}{r_0} \quad (10)$$

반사파는 반사 계수를 고려한 다음 식 (11)과 같이 된다.

$$E = E_0 \Gamma \frac{\exp[-jk(r_1 + r_2)]}{r_1 + r_2} \quad (11)$$

여기서 r_1 은 반사되기 전까지의 경로길이이고, r_2 는 반사된 후의 경로 길이이다. 여기서 반사계수는 2절과 3절에서 계산한 것과 같다.

$$E = E_0 \frac{\exp[-jkr_0]}{r_0} + E_0 \Gamma_{q-sea}(\theta) \frac{\exp[-jk(r_1 + r_2)]}{r_1 + r_2} + \sum_{n=1}^N E_0 \Gamma_{q-land}(\theta) \frac{\exp[-jk(r_{3n} + r_{4n})]}{r_{3n} + r_{4n}} \quad (12)$$

여기서 첫 번째 항은 직접 오는 전파의 전계를 나타내며, 두 번째는 바다에서의 산란, 세 번째 항은 지표면 반사 전계를 나타낸 것으로 수신기와 송신기, 그리고 DEM 데이터에 따라 여러 개의 지표 반사파를 가지게 되므로 모든 지표면 반사파를 합한 형태를 취한 것이다.

6. 시뮬레이터 개발결과

본 시뮬레이터 개발 결과는 앞에서 고려된 여러 전파 수신 세기에 영향을 미치는 요소들과 각각의 지형 지물과 바다에서의 산란을 모두 고려한 산란 모델 결과를 보여준다. 시뮬레이션을 위해 설정한 장소는 900 X 900의 셀을 가지고 있고, 각 셀 당 해상도는 대략적으로 30m×30m인 DEM 데이터를 이용하였다. 주파수 2.2GHz에서 바다의 유전율은 대략적으로 70.0-j32.0 이고, 지표에서의 유전율은 수분함유량이 10%에서 대략적으로 7.0-j1.2이다. 수신기는 지표면으로부터 20m 위에 있다고 가정하였고 송신기는 500m 상공에서 운행한다고 설정하였다.

내륙지역에서는 송신기의 고도가 높고 상대적으로 수신기의 위치는 매우 낮으므로 바다에서 반사되는

전파의 영향은 무시할 수 있다. Fig. 12에서 VV-편파와 HH-편파가 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있으며, 두 경우 모두 거리가 멀어짐에 따라 레벨이 낮아지는 경향을 볼 수 있다. 수신기가 해안지역에 있을 경우에는 바다에서의 전파반사가 포함된다. 이 경우에는 Fig. 13에서 보는 바와 같이 HH-편파가 VV-편파보다는 약간 높게 결과가 나오는 것을 알 수가 있는데 이는 VV-편파에서는 Brewster 각도가 있어 반사율이 낮아지기 때문이라고 생각된다.

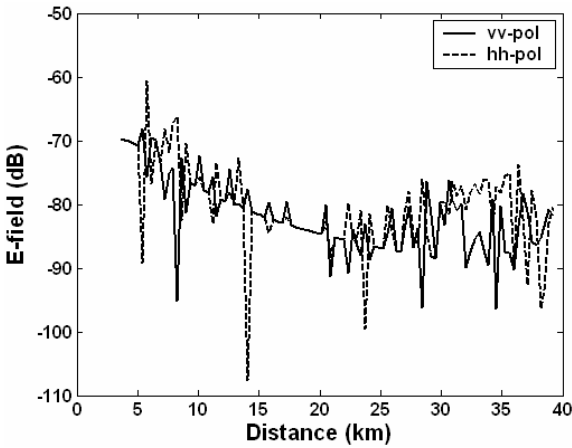


Fig. 12. 내륙에서의 수신전파 세기 계산

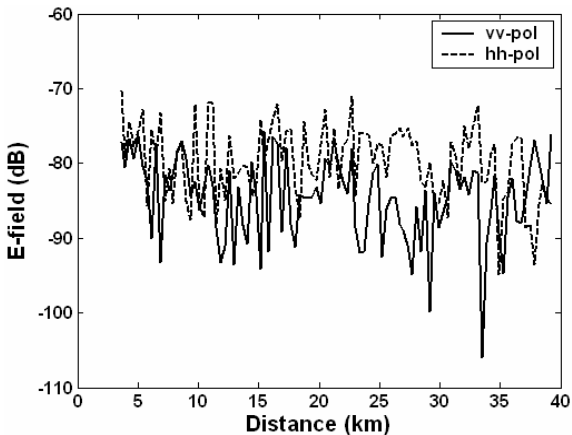


Fig. 13. 해안지역에서의 전파세기 계산결과

본 연구의 수신신호세기 예측 시뮬레이터는 유도무기의 경로이동에 따른 주변지역에서의 전파 수신 레벨을 시각적으로 나타낼 수 있는 기능이 있다. Fig. 14에서처럼 유도무기가 움직임에 따라서 각 지역에서의

전파 수신 세기를 확인 할 수 있다. Fig. 14에서 볼 수 있듯이 거리가 가까운 쪽에서 레벨이 가장 높으며, 안테나 패턴에 의한 영향이 뚜렷하게 보인다. 또한 진행방향 뒤쪽으로는 plume의 영향으로 전방에 비해 레벨이 현저히 떨어지는 결과를 볼 수 있다. 그리고 육지에서의 전파세기가 거리가 비슷한 주변 바다지역보다 높은 레벨로 수신이 가능하다는 결과를 얻을 수 있었다.

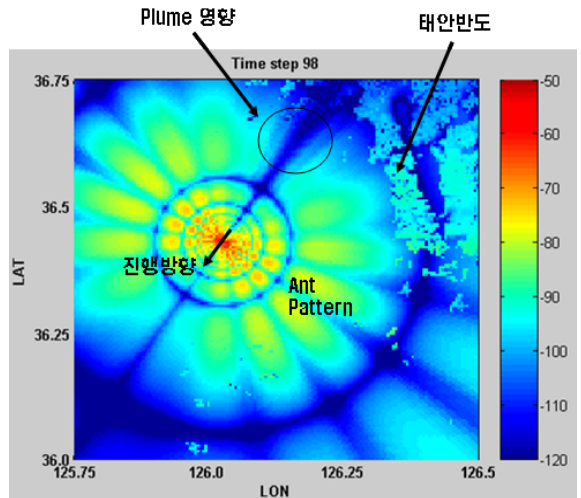


Fig. 14. 태안반도 지역에서의 전파세기 계산결과

7. 결론

본 논문은 지형지물과 전파 전파특성을 고려하여 비행체의 비행궤적에 따른 RF 수신신호 세기를 시험 전에 예측하는 모델에 관한 연구이다. 바다와 육지에서의 전파반사를 정확하게 계산하였으며, 비행체의 plume과 송수신 안테나 패턴을 고려하여 RF 수신신호 세기를 시뮬레이션 하였다. ray tracing 방법을 통해 전파의 경로를 찾고 산란 요소들을 계산하기 위해 각각 특성에 맞는 다른 모델을 적용하여 계산하였다. 계산을 위해 바다와 육지에서의 전파반사를 모델링하고 시뮬레이션을 통해 지형과 바다의 파고에 따른 전파반사특성을 고려하였다. 태안 반도지역에서의 산란 특성을 2.2GHz 대역에서 VV-편파와 HH-편파에 대해서 계산하여 수신 신호세기 결과를 얻었고 결과를 시각적으로 표현하여, 전파환경에 미칠 수 있는 각 요소들에 대한 영향을 알아 볼 수 있었다.

Reference

- [1] 김상근, 오이석, “바다표면의 Bistatic Coherent Reflectivity 계산을 위한 Monte-Carlo/모멘트 법과 PO 모델 비교”, 한국전자과학회 추계학술대회, Vol. 28, No. 2, pp. 383~386, 2005.
- [2] 홍진영, 오이석, 서동수, 김홍범, “비행체 Plume에 의한 전파 경로 추적”, 한국전자과학회 추계학술대회, Vol. 28, No. 2, pp. 371~374, 2005.
- [3] R. De Roo and F. T. Ulaby, “Bistatic Specular Scattering from Rough Dielectric Surfaces”, IEEE Antennas and Propagat., Vol. 42, No. 2, Feb. 1994.
- [4] 오이석, 노찬호, 성혁재, 이병훈, 구연건, “Estimation of Microwave Path Loss and Cross-polarization Coupling in a Simple Urban Area”, 한국전자과학회 영문지(JKEES), Vol. 1, No. 1, pp. 30~36, May 2001.
- [5] F. T. Ulaby, K. Sarabandi, K. McDonald, M. Whitt, and M. C. Dobson, “Michigan Microwave Canopy Scattering Model”, Int. J. Remote Sensing, Vol. 11, No. 7, pp. 1223~1253, 1990.
- [6] M. A. Karam, A. K. Fung, R. H. Lang, and N. S. Chauhan, “A Microwave Scattering Model for Layered Vegetation”, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 30, pp. 767~784, 1992.
- [7] Y. Oh, K. Sarabandi, and F. T. Ulaby, “Semi-empirical Model of the Ensemble-averaged Differential Mueller Matrix for Microwave Backscattering from Bare Soil Surfaces”, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, Vol. 40, pp. 1348~1355, June 2002.
- [8] 정구준, 이성화, 오이석, “새로운 클러스터 모델을 사용한 SAR 데이터 시뮬레이터 개발”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회 논문집 제1권, pp. 373~376, 2003. 8. 26.
- [9] <http://realtime.kordi.re.kr>